

УДК 621.375.126

## РЕЗОНАНСНЫЙ СВЧ-КОМПРЕССОР С ВЫВОДОМ ЭНЕРГИИ ЧЕРЕЗ ВОЛНОВОДНЫЙ МОСТ ИЗ КРУГЛОГО ВОЛНОВОДА

В.А. Августинovich, С.Н. Артеменко, С.А. Новиков

Томский политехнический университет

E-mail: novsa@el.ti.tpu.ru

Предложен СВЧ-компрессор для получения наносекундных СВЧ-сигналов с коэффициентом усиления ~22 дБ, мощностью ~500...600 МВт и стабильностью амплитуды ~15 %. Представлены результаты экспериментального исследования резонансного СВЧ-компрессора 10-см диапазона длин волн с выводом энергии через волноводный мост, выполненный на основе двух  $H$ -тройников из круглого волновода. Экспериментально получены сигналы с пиковой мощности ~270 МВт, длительности ~3 нс и стабильности амплитуды ~10 %.

**Ключевые слова:**

Сверхвысокие частоты, резонансный компрессор, усиление, круглый волновод, интерференционный переключатель.

**Key words:**

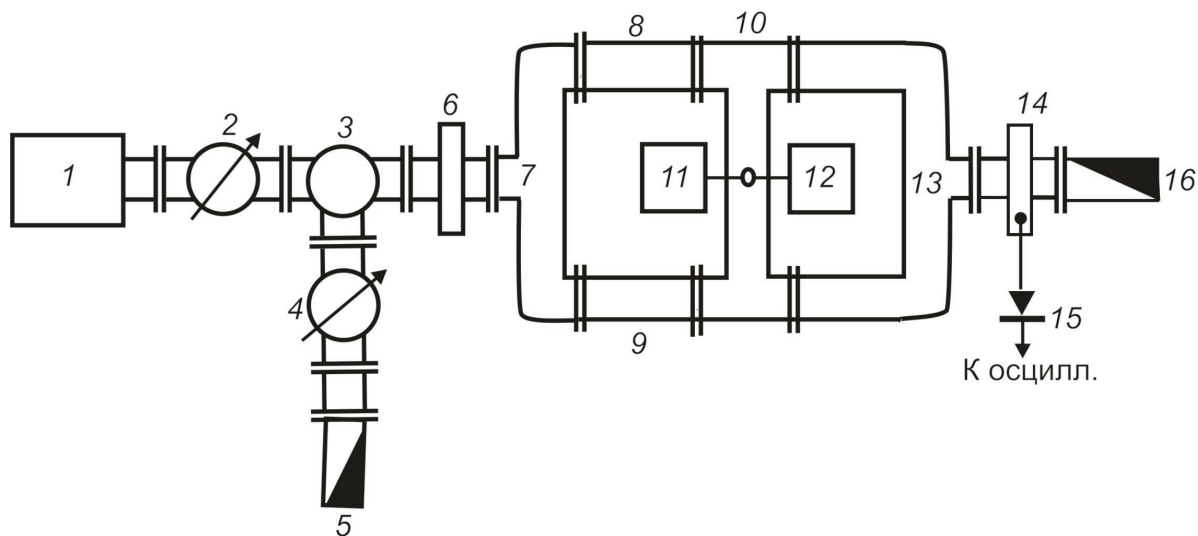
Microwaves, resonant compressor, amplification, circular waveguide, interference switch.

В [1] сообщалось о возможности использования моста на основе двух  $H$ -тройников, изготовленного из прямоугольного волновода с общим боковым плечом, в качестве устройства вывода в резонансном СВЧ компрессоре. Такое устройство позволяет двукратно повысить мощность компрессора по сравнению с мощностью, получаемой при выводе энергии через интерференционный переключатель на основе  $H$ -тройника. Повышение мощности достигается за счет вывода энергии одновременно через два канала, что обеспечивается коммутацией рабочей волны плазмой СВЧ-разряда в общем боковом плече тройников моста. В то же время в [2] показана возможность эффективного переключения основной моды в интерференционном переключателе на основе  $H$ -тройника из круглого волновода. Это позволило разработать устройство вывода с более высоким, по сравнению с переключателем из прямоугольного волновода, уровнем рабочей мощности. Только за счет увеличения площади сечения волновода достигнуто более чем двукратное повышение мощности компрессора. В принципе, мощность компрессора может быть увеличена еще в два раза в случае реализации эффективной коммутации основной моды в устройстве вывода в виде волноводного моста из круглого волновода. В данной работе приводятся результаты экспериментального исследования резонансного СВЧ-компрессора с коммутацией в мосте из круглого волновода.

Исследования выполнены на компрессоре 10-см диапазона длин волн, в котором для накопления энергии использовалось два цилиндрических резонатора диаметром 90 мм и длиной 365 мм, работающих на частоте 2805 МГц на  $H_{11(5)}$  модах колебаний. Вывод энергии из резонаторов осуществлялся через мост, который был выполнен на основе  $H$ -тройников из круглого волновода с общим боковым плечом, изготовленным из волновода такого же диаметра, что и резонаторы. Длина общего плеча от осей волноводов прямых (входных и вы-

ходных) плеч моста составляла 394 мм. В общем плече, как и в накопительных резонаторах, возбуждалась  $H_{11(5)}$  мода колебаний. В центре этого плеча располагался СВЧ-коммутатор, представляющий собой продуваемую газонаполненную кварцевую трубку с внутренним диаметром 8 мм и наружным 12 мм. Ориентация трубки совпадала с плоскостью поляризации рабочей моды резонатора. Со стороны одного из торцов трубки монтировался электрический разрядник, обеспечивающий подсветку разрядного промежутка СВЧ-коммутатора (волновода). Кроме того, к торцам трубки подсоединялись трубопроводы системы продува разрядного промежутка. Подобная конструкция коммутатора детально описана в [2]. Накопление энергии осуществлялось от импульсного магнетрона через согласованный волноводный  $H$ -тройник со стороны его бокового плеча и, далее, через идентичные входные диафрагмы с окнами диаметром 27 мм, расположенными на торцовых стенках резонаторов. Длительность импульсов магнетрона равнялась 3,2 мкс, а мощность достигала 2 МВт. Несущая частота импульсов могла регулироваться в пределах 2795...2805 МГц. Приемлемое равенство рабочих частот резонаторов обеспечивалось идентичностью исполнения резонаторов.

Суммирование сигналов с выходных плеч моста (выходов компрессора) производилось в волноводном  $H$ -тройнике из стандартного прямоугольного волновода, прямые плечи которого подсоединялись к выходным плечам моста, а боковое плечо через направленный ответвитель нагружалось согласованной нагрузкой. Со стороны бокового плеча суммирующий тройник, также как и делящий, был практически согласован. Его КСВН не превышал 1,2. Сопряжение круглых волноводов выходных плеч моста и прямоугольных волноводов суммирующего тройника осуществлялось плавными волноводными переходами. Для контроля сигналов в каждом из выходов компрессора суммирующий тройник отсоединялся. В этом случае каждый



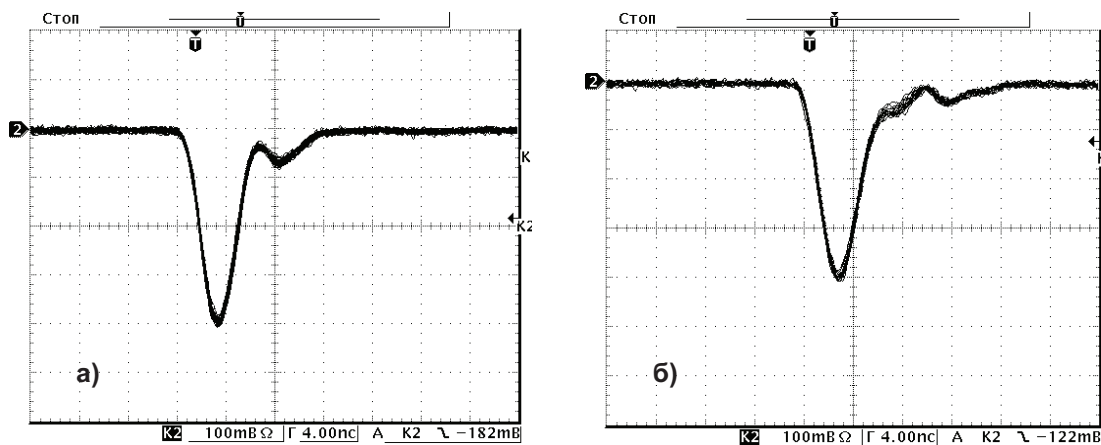
**Рис. 1.** Схема экспериментальной установки: 1) магнетронный генератор; 2, 4) фазовращатели; 3) циркулятор; 5, 16) согласованные нагрузки; 6, 14) направленные ответвители; 7, 13) входной (делящий) и выходной (суммирующий) Н-тройники; 8, 9) накопительные резонаторы компрессора; 10) волноводный мост с СВЧ коммутатором; 11) генератор высоковольтных импульсов; 12) система продува; 15) СВЧ-детектор

из выходов нагружался согласованной нагрузкой, включенной последовательно с направленным ответвителем. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1.

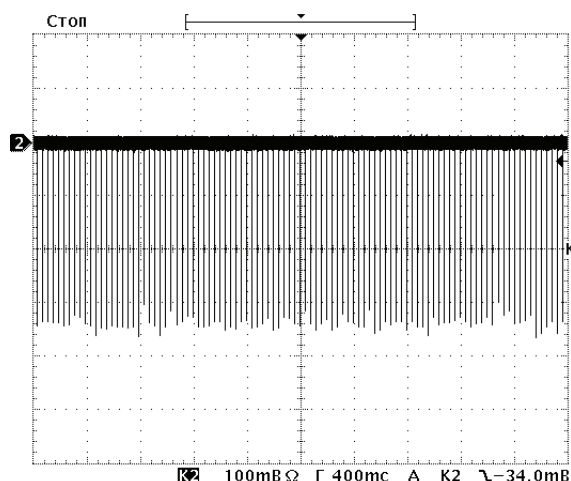
Измеренная собственная добротность резонансной системы на рабочей моде составляла  $25,5 \cdot 10^3$ , а расчетный коэффициент усиления при оптимальной входной связи равнялся  $\sim 24$  дБ. Резонаторы системы заполнялись азотом под избыточным давлением 4 ати с добавлением 20...25 % элегаза. Разрядная трубка коммутатора заполнялась азотом под давлением 1,5...1,8 ати либо аргоном под давлением  $\sim 2,5...3$  ати с добавлением 7...10 % элегаза. При таком давлении в трубке обеспечивалась стабильная работа коммутатора без сбросов на самопробой. В принципе, в таких условиях вывод энергии был практически идентичен выводу энергии через интерференционный переключатель на основе Н-тройника из круглого волновода. Система эффективно работала как при коммутации в

смеси аргона с элегазом в атмосфере азоте, так и в смеси аргона с элегазом. Коэффициент усиления при коммутации по каждому из выходных каналов, достигал около 22,5 дБ. Таким образом, мощность выходных сигналов по каждому из каналов достигала 150...160 МВт. Осциллограмма, рис. 2, демонстрирует огибающую выходных сигналов по каждому из каналов и суммарного сигнала при работе компрессора. Так как управление выводом осуществляется одним СВЧ коммутатором, то это исключает проблемы с синхронностью суммируемых сигналов. Длительность сигналов составляла 2,3...2,8 нс.

При заполнении резонатора азотом импульсы были несколько длиннее, чем при использовании аргоном с элегазом. Суммирование сигналов в тройнике приводило к некоторому увеличению их длительности и незначительному снижению усиления. Скорее всего, это связано с неидеальным согласованием суммирующего тройника и возможным от-



**Рис. 2.** Осциллограммы огибающих выходного СВЧ сигнала: а) выходного СВЧ сигнала по каждому из каналов; б) суммарного



**Рис. 3.** Осциллограмма серии суммарных выходных СВЧ-сигналов

лением длины волноводных трактов от выходов компрессора до места суммирования. Максимальная суммарная пиковая мощность составила ~270 МВт при усилении ~21,5 дБ и длительности

сигналов ~3,3...3,7 нс. Нестабильность амплитуды не превышала 10 %. Рис. 3 демонстрирует огибающую и серию выходных сигналов с частотой следования 25 Гц.

Для оценки потенциальных возможностей СВЧ-компрессора с описанным выше устройством вывода, были выполнены эксперименты отдельно на каждом из резонаторов. Вывод энергии в этих случаях осуществлялся через *H*-тройник из круглого волновода. Достигнутый уровень мощности составил ~320 МВт, а нестабильность амплитуды не превышала 15 %. Это означает, что в компрессоре с мостовой схемой вывода мощность выходных сигналов может быть удвоена, т. е. доведена до уровня 500...600 МВт без заметной потери стабильности параметров сигналов.

Таким образом, в работе теоретически и экспериментально подтверждена высокая эффективность устройства вывода энергии в виде моста на основе двух *H*-тройников из круглого волновода.

Авторы благодарят Ю.Г. Юшкова и В.Л. Каминского за интерес к работе и обсуждение результатов, В.Ф. Дьяченко за помощь при проведении исследований.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Августиневич В.А., Артеменко С.Н., Новиков С.А. Волноводный мост как элемент вывода энергии резонансного СВЧ-компрессора // Известия вузов. Радиофизика. — 2008. — Т. 51. — № 3. — С. 216–222.
2. Августиневич В.А., Артёмов С.Н., Дьяченко В.Ф., Каминский В.Л., Новиков С.А., Юшков Ю.Г. Исследование переключателя СВЧ-компрессора с коммутацией в круглом волноводе // Приборы и техника эксперимента. — 2009. — № 4. — С. 106–109.

Поступила 05.03.2010 г.